養液栽培之主要設施

沈　再　發*

養液栽培為將作物所需養分溶解在培養液中，並供給充分的空氣或藉由理化性良好的固體介質，使作物的根在適當的環境下得到良好養分吸收的栽培方法。由於設施上有關栽培介質、栽培床、供排液或灌溉、作物支持方法等裝置不同而形成不同之栽培方式。

本文就養液栽培上主要的設施裝置要點分成：(1)以日本所發展之水耕，(2)英國所開發之養液薄膜水耕，和(3)荷蘭之岩綿耕三種行介紹，供本省養液栽培發展之參考。

一、日本之水耕

(一)栽　培　床

1. 構造所需具備條件，包括：

(1)構造堅固、不可漏水。

(2)每作收穫後之整理作業簡單。

(3)設置容易、輕便並便宜。

(4)可適合多種類作物栽培。

2. 栽培床之資材：

栽培床可以水泥、保麗龍板、FRP 、ABS 樹脂板、紅泥塑膠布、其他硬質塑膠板或軟質塑膠布造成。其固定資材可以木材、竹材或鐵材等。

以水泥造成者其施工勞力花費多，但耐久性長，使用後之維持費也較低。施工時得注意不漏水。

以硬質塑膠板等規格化造成者，其施工建造作業較簡單，如果規格化大量生產者可得到較低價格，但是自行定製時所需費用較高。

以保麗龍板製成栽培床相互連接起來，其內部再敷以PE塑膠布（厚0.15mm）者，其形狀如單純的話，費用也低廉，裝置施工也容易，且發泡體具有斷熱性作用。但是其耐用性較低，且得注意PE塑膠布是否有漏洞，還有保麗龍板的連接處，得嚴密固定，否則造成高低不平，塑膠布易破裂。

以紅泥塑膠布或軟質塑膠布為材料，水泥柱、鋅管或木材為栽培床之固定材，依所需規格做成栽培床，其施工簡易，成本也低廉。

3. 栽培床之大小：

一般栽培床寬為60～90公分、深8～20公分、長20～30公尺。依栽培方式，作物種類或溫室大小、地形等行決定所需規格，如為廠牌製造者，各有一定規格。

水耕栽培床做成1／200坡度，但NFT則以1／75－1／100或以上坡度。日本主要廠牌之栽培床大小列如表一。

* 農試所鳳山熱帶園藝試驗分所

表一　日本主要水耕廠牌栽培床之規格大小

水　耕　方　式	寬　cm	長　cm	高　cm	質　材
協和Hyponica	104	315	8.5	ABS樹脂
M　式	70	120	17	保麗龍板厚 3 cm
等量交換	60或90	90或180		保　麗　龍　板
久保田1號	70	345	9	ABS樹脂
神園式	80	20m	10	PE布、水泥柱

(二)供排液之裝置

1. 水耕方式之供排液系統：

循環水耕的基本型式為將水源通到養液池，將肥料鹽溶解於養液槽（池）內，以泵浦啓動揚水，經由水管流入栽培床內，並在栽培床內保持一定量的水位，高於一定水位的培養液由設置的排液孔經由排液管自然回流養液槽（池）。以定時控制泵浦行間斷性供水和排水，使養液由養液槽（池）和栽培床間循環。茲以日本之主要水耕供排液系統列如下供參考：

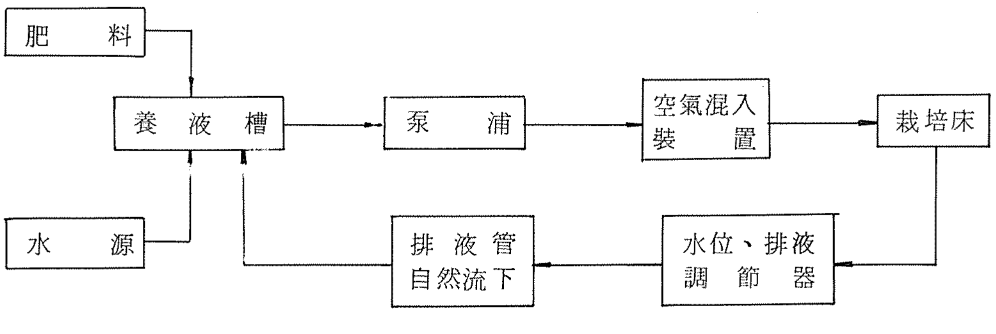


圖 1　強制循環式水耕（協和式）

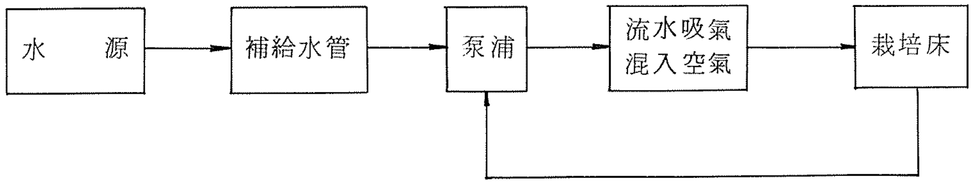


圖 2　M式水耕

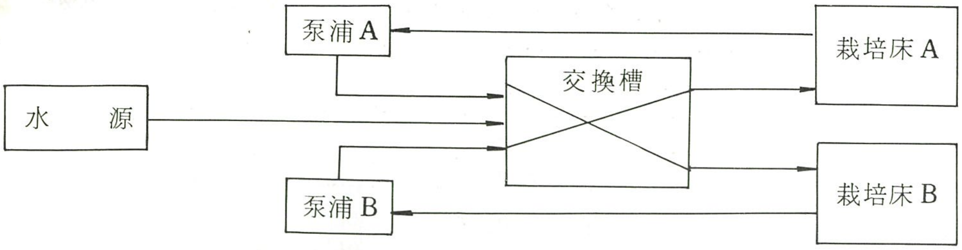


圖 3　等量交換式水耕

協和式水耕之設施需要有養液池。而M式和新和等量式水耕則不必有養液槽（池），將栽培床內之培養液以泵浦直接抽水，在循環的過程途中以空氣混入裝置行栽培床間的循環。

2. 空氣混入裝置：

供氧爲很重要之裝置，各種水耕栽培法都講究其特色的供氧方法。

培養液之循環時，泵浦爲不可缺乏機器。不具養液槽的M式由泵浦供水循環中以流水方法吸氧（如圖 4 ）。其循環之塑膠管延伸於栽培床內，並每一定間隔具有 1.0 － 2.0 mm的細孔以噴射出培養液。其吸氣裝置設於泵浦（通常 1000m^2以揚程 8 － 10 m、揚水量 300 － 350 ℓ／分）的供水管的基部，噴孔所噴出的空氣混入液儘量靠近作物的根部。

協和式則在供水管口裝上曝氣裝置，使形成許多之氣泡而沖入栽培床中（圖 5 ）。

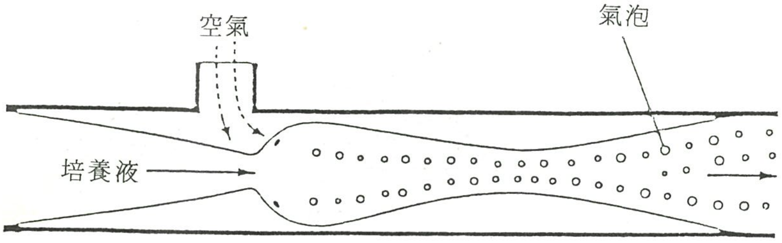


圖 4　M式之流水吸氣

圖 5　協和式之曝氣裝置

久保田式則以有孔塑膠管裝於栽培床上部分，於塑膠管上以一供水管蓋使噴出的養液在空間後落下時帶進空氣（圖 6 ）。

噴霧耕則通常在供水管上每90公分間隔裝置噴頭，以霧狀供液到床內並直接供到作物的根部上。

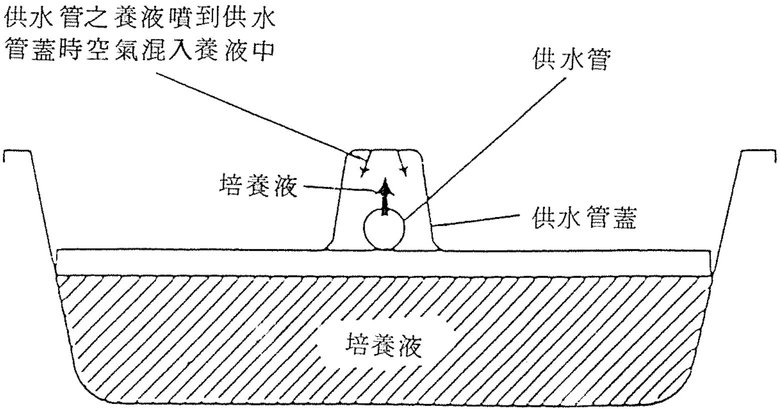


圖 6　久保田供液方式

其他也有設坡度的床，以段流的方式配合用水閘分成數段，使養液由上向下流水之間增加溶氧量（圖 7 ）。

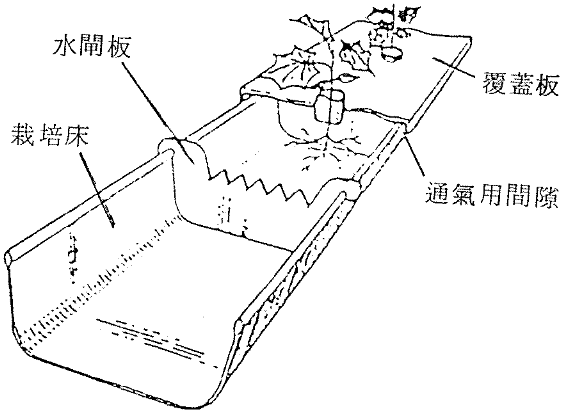
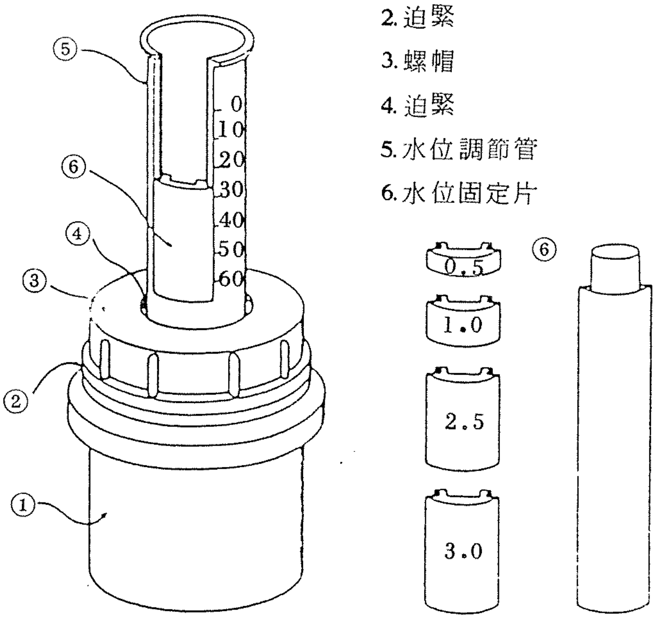


圖 7　段流型栽培床之構造

3. 排液管：

培養液由栽培床自然流下到養液槽。於栽培床保持一定高度的培養液，其液深可自由調節者，如協和式Hyponica於排水管上設有高低調節水位固定片，依生育期行水位高低調節（圖 8 ）。

為防止根流入排液管堵塞了裝置，於排液管外裝置排液孔帽也是很重要的（圖 9 ）。



1. 凡而接頭
2. 迫緊
3. 螺帽
4. 迫緊
5. 水位調節管
6. 水位固定片

圖 8　協和式排液調節器之構造

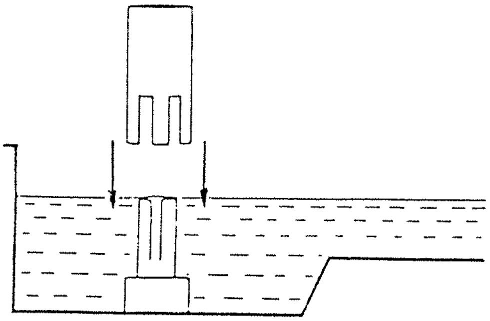


圖 9　排水管防止根流入堵塞的裝置

㈢栽培床之覆蓋板：

栽培床之覆蓋板至少有下列功用，包括：作物之固定與支持，防止藻類之繁殖、緩和根部溫度劇烈的變化，和防止灰塵侵入栽培床內等。因此該覆蓋板之資材，得要堅固耐用，使根部密閉起來，並具有斷熱的效果。目前以保麗龍板爲覆蓋者爲多。由於保麗龍板具有斷熱效果，且也能負荷作物的重量。栽培床之覆蓋板開有種植穴，其間隔距離或大小則依作物別或育苗法有所不同。但是此保麗龍板於直射光下，品質易劣化，最多僅能用 4 － 5 年。因此，也有在其上面再蓋上一層反射性之塑膠布。

㈣養液槽（池）：

1. 養液槽的容量：

依栽培方式則其容量有差異。礫耕或循環式水耕適果菜栽培者，如日本協和Hyponica，神園水耕等，十公畝地需設 25 － 30 噸容量。留在栽培床內之溶液量依水位而不同，如以 3 公分深度計算時，每分地約 20 噸溶液。再加上養液槽內之養液，兩者合計爲 40 噸。

依鳳山分所行夏季洋香瓜水耕測定1株1日的蒸發散量，於幼苗到開花期爲 0.69 公升，開花期到小果期爲 1.55 公升，果實肥大期爲 2.86 公升，果實成熟期爲 2.04公升。栽培期間爲 71 日，平均每株 1 日消耗 1.66 公升。每十公畝（以 2,400 株計算），計約消耗 283 公噸養液。春季洋香瓜幼苗到開花期爲 0.67 公升，開花期到小果期爲 1.18 公升，果實肥大期爲 1.98 公升，果實成熟期爲 1.45 公升，栽培期間爲 82 日，平均每株 1 日消耗 1.59 公升，每十公畝（以 2,400 株計算），計約消耗 313 公噸。容量較少的栽培方式，栽培槽容量約爲 4 － 8 公噸。而此容量小者，就得有自動的供水裝置，和養液濃度的控制系統。但是並非所有的栽培方式皆需設置養液池，也有不設養液槽者，如日本之M式及鳳山熱帶園藝試驗分所推行之浮根式。另日本新和等量交換式同樣不必設養液槽。

於水源的補給過程中，以濃厚的培養液用自動的稀釋裝置器行混合補充。也屬於不具養液槽的栽培，當然養液池容量與設施費用有關，容量小者設施費用低，但得附自動控制裝置（圖 10）。

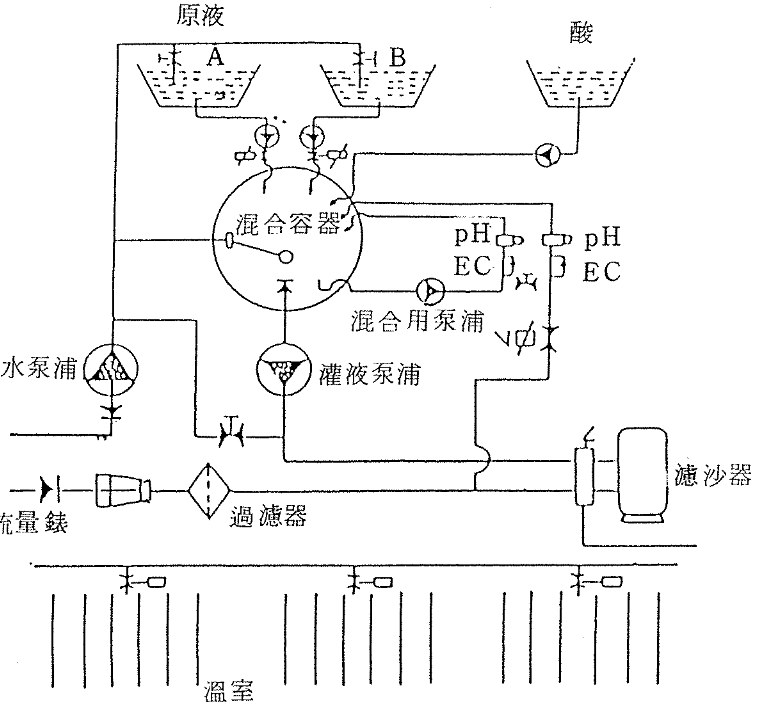


圖 10　培養液自動控制裝置

2. 養液槽之質材和施工：

容量爲 20 － 30公噸時，通常設於地下以鋼筋水泥造成。其表面塗上防水層或柏油（瀝青）以防漏水及水泥的有害成分溶解。較小容量者可於水泥池內面以ＰＥ塑膠布墊起來以防漏水，如容量小於 10 公噸以下，尤其是 3 － 5 公噸者，可以FRP製成。

養液槽之設計施工時，宜注意地表水或地下水的流入或滲入，而設於地上部FRP 製養液槽，要注意下大雨時勿因容水量少而被雨水所浮起來或倒下。另有關養液槽之塗料或內容的配管，得留意溶解出有害作物的物質。

其他大型養液池得裝設養液之攪拌用的配管，以使養液之混合均勻。

有關日本主要水耕型式之主要裝置特徵如表二。

表二　日本主要水耕型式之裝置特徵

型式	供排液系統	氧氣之供給	作物之支持	養液槽之有無	培養液之管理	栽培床	價格(日幣／坪)	特點
協和 Hyponica	循環	曝氣裝置	PE盆及石礫	有 30噸／10a	EC, pH	硬質塑膠板	30,000	特殊曝氣裝置
M式	床內循環	流水吸取	泡棉和保麗龍板	無	EC, pH	保麗龍板	30,000	流水吸氧，不具養液槽
新和等量交換	床間相互交換	交換水供氧	泡棉和保麗龍板	無	EC, pH	保麗龍板	12,000	不具養液槽水位調節
MIKADO NFT	循環	流動水	泡棉和保麗龍板	有 5-7噸／10a	EC, pH	波浪板	9～15,000	波浪板床自行施工容易
神園式	床內循環	流水吸取	PE盆和保麗龍板	有 25噸／10a		水泥柱塑膠布		裝置簡單便宜

二、英國之養液薄膜法(N.F.T)

養液薄膜法之供、排液和養液循環與前述之水耕方式有所不同。因爲其栽培床容積較小，栽培床得設有坡度。由頂端供液，並形成一層薄膜之水層向下流。所流下的養液量也很少，使根可接觸到液面的空氣而形成有如海綿狀的根系。栽培方式之供、排水系統如圖11。其主要裝置可分爲下列數項：

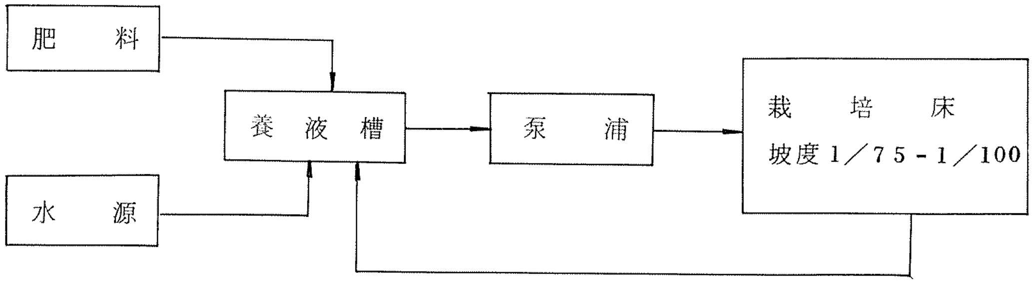


圖11　養液薄膜法水耕

㈠栽植槽（Gully）：

具有各種形式，可依所需形狀由金屬或預先成形之塑膠製品製成。槽寬度約25分（番茄）至30公分（胡瓜）。栽植槽外用黑白塑膠布包覆，白色向外供植株吸收所反射之光綫，黑色面向內做爲根部保溫之用。塑膠布之兩邊沿栽植槽向上，於植株間以固定夾固定呈三角形，養液及根部則在三角形底部。養液之供應則經由一條軟管灌入槽中，有時爲避免軟管阻塞也有採用二條獨立的軟管供應。栽植槽之長度一般以20m爲宜，過長時易導致缺氧，但是若依槽的長度將養液分2或3處注入槽中，則可避免此種缺氧現象。

(二)坡度與流速：

養液自栽植槽緩慢流向集水槽，並在栽植槽內的根周圍形成一淺薄的養液層。爲保持良好的充氣作用，養液之流速必須適當，（一般每栽植槽每分鐘2－3公升的流速被認爲最恰當）。深度則不可超過10mm。影響流速的原因除了槽寬，根群的多寡，養液供應速率等之外，坡度的大小也是一項重要因素。經長期的試驗及觀察，認爲栽植槽之坡度以1／75至1／100爲宜。

(三)循環泵浦與配管：

在小型的NFT裝置中，管路及泵浦的裝置非常簡單，其管路大小及養液供應速率較好計算，唯一之要求爲泵浦必須容易拆卸，以便清除內部積存之雜物。但是大型的設施中，常採用標準型無離心力之馬達，所用管路通常爲硬質PVC或ABS材料，在連接處以液接法（Solvent-welding techniques）粘合，並在主要管路上接許多小軟管，作爲供應養液之管路。

(四)吸水墊（Capillary matting）：

吸水墊的主要目的在使每一行中每一植株的根系都得到均一的養液供應，並使早期的管理工作簡單，剛定植的幼小植株不因養液的流動而流失。但此法之缺點爲當根貫穿吸水墊底部時將使氧氣之獲得更加困難。爲了改善此缺失，建議採用較窄之吸水墊，分別橫放或直放於栽植槽內，只要使少部份根部附着於墊上，以達到經濟，通氣良好的效果。

(五)營養液槽（Catchment tanks）：

設於整個系統的最低點，一般都埋入地下。材料採用玻璃纖維或水泥造成，但必需要能隔光以避免藻類之生長及土壤病原菌之污染。一般槽的容量並不需要大至全部養液的容量，僅需容得下全部營養液的10－15％即可，讓其餘大部份的養液在系統中循環。但是較大的槽可容得下較多的養液，使pH值及養液濃度較穩定。槽中水位高度可由連接主供水管上的浮球開關控制，亦可用電極法來控制及記錄水位高度。回水管槽之設計應注意到改善充氣作用並使營養液混合均勻。

(六)鹽類濃度控制器（Salinity Controllers）：

截至目前爲止，在養液栽培中，測量導電度（electric conductivity）仍爲控制養液中鹽類總濃度的唯一方法，此法乃測量通過二個或二個以上浸於養液中的電極之電流，當鹽類濃度高時，導電度較大。自動控制系統於EC不合所設定之濃度時，除監視外並自動啓動馬達注入調整液。導電度所用之單位爲microsiemens／cm（μScm^{-1}），通常簡寫爲μS，其他單位如millimhos，millisiemens及CF。其關係如下：1 millisiemen（mS）＝1 millimho（mmho）＝1000μS＝1000μmho＝10CF單位。

導電度因溫度而隨之變化，大約是溫度每升降1℃，導電度隨之改變2％。因此可利用此一特性推算另一溫度下之導電度，但大多數的自動控制系統附有溫度補償裝置，可補償至25℃。並且在養液栽培中，鹽類濃度之設定亦非一成不變，而是依據許多因素來決定；例如植物之生長期、季節、水質等。在硬水地區，農民以番茄作經濟栽培時，常將早期之導電度設定在4,000μS，但在第一花房開花時則調高至10,000μS以抑制其生長。因此在設定EC值時必須考慮各種因素。事實上，當水中所含有的某種金屬元素超過作物的需要，或所供肥料與作物之養分吸收比例不一致時，自動控制雖然可使得EC值維持一定，但其間個別養分含量變化則無法測出；因此定期的化學分析是有必要的。一般建議是，對於主要元素N，P，K，Ca，Mg應每10－14天測定一次，微量元素則每個月測定一次。

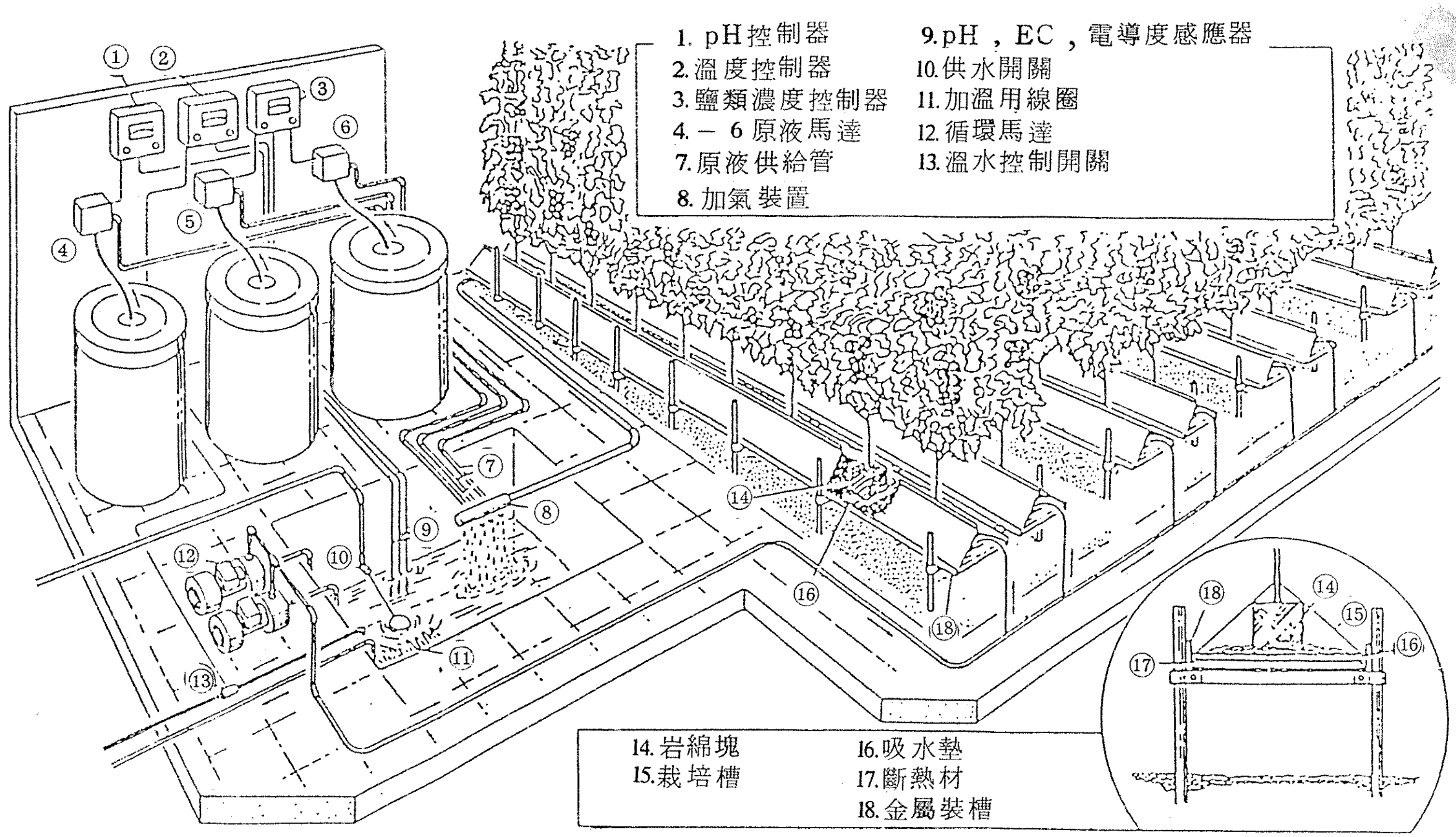


圖 12　養液薄膜法之構造

(七)酸鹼度控制器（ pH controller ）：

番茄栽培時ｐＨ值設定在５.５～６.５之間，藉著養液槽中的玻璃電極棒測定。於所設定之培養液中，若ｐＨ值過高時，自動控制系統則注入適量酸液，以平衡ｐＨ值。調整用的酸液多爲硝酸及磷酸之混合液，以避免調整後其他要素養分之改變。這些酸的原液在使用前都稀釋成１：10或１：20；在調配養液時，ｐＨ值不必調得極精確，細部之校正可由自動控制系統爲之。在調製酸液時，下列一些事項是十分重要的，例如在稀釋時，必須將酸液加至水中而不可將水加至酸中；貯存時避免向陽處或靠近輻射處，另外避免酸液濺在衣服或皮膚上也是很重要的。

三、荷蘭之岩綿栽培

岩綿爲玄武岩、石灰岩和焦炭爲原料製成，其重量比爲4：1：1，於1600 ℃高溫熔解而製成纖維狀。此纖維經由酚樹脂處理使其具有安定性與親水性。所製成之岩綿空隙率高（ 97.8 %），因此爲保水性與通氣性良好的固體栽培介質。通常岩綿於灌水後，約有60％含水率，可保持多量液體。因此，不必像水耕在一天之時間內供給多量的養液，只要在一定時間內將蒸發散所消耗之水量，於時間內慢慢地補充就可。

有關岩綿的供排液方式大致可分爲二種：一種爲以較多量的培養液行灑水式灌溉，多餘之培養液經由排水再集到養液池，形成養液的循環。另一種依蒸發散量大致相同的培養液，以點滴式灌溉慢慢供給，略有多餘之培養液則由岩綿袋之排水孔排掉，不再利用，或稱爲非循環式。荷蘭等歐洲國家則以後者行灌溉佔大多數。

(一)岩綿栽培裝置方法說明如下：

1. 標準式（ Standard system ）或稱岩綿床法：

栽培用岩綿以塑膠布包起來（ Rockwool foil ）。溫室整平後以２％福爾馬林液消毒，地面以０.07mm白色塑膠布覆蓋，將岩綿床（通常番茄、甜椒用岩綿床長、寬、高爲 90 × 15 × 7.5 cm，胡瓜用者爲 90 × 20 × 7.5 cm），排放於覆蓋塑膠布上。於根圈岩綿床之下設置加熱管。將育苗之岩綿塊（ Rockwool cube）定植於岩綿袋上（番茄、甜椒育苗用之岩綿塊大小爲 75 × 75 × 65mm），培養液灌溉以電腦控制滴灌（ drip ），每株各一滴管。多餘之滴灌培養液由岩綿袋下面之塑膠布剪裂縫排出（非循環式）如圖13。如果排水較差之地面，則需埋設排水管。該栽培方式適用之作物包括胡瓜、番茄、甜椒、茄子等。

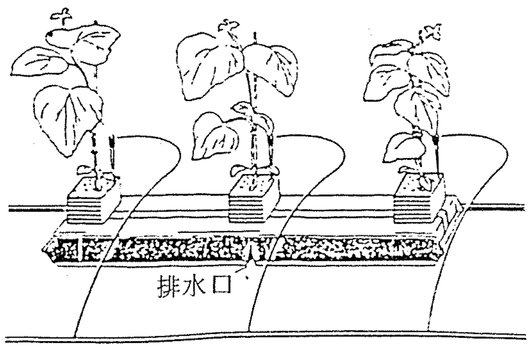


圖 13　標準式岩綿栽培法

2.栽培槽式（Gutter system ，Gutter strip system, Gutter cube system）：

以保麗樹脂等製成栽培槽，栽培槽放於地面，槽內放置岩綿條（Strips）或岩綿塊（Cubes）。岩綿條之長、寬、高爲 90 × 10 × 7.5 cm或 90 × 10 × 10 cm ，岩綿塊之長、寬、高爲 10 × 15 × 10 cm，或 15 × 15 × 7.5 cm，或 15 × 15 × 10 cm。槽內調節使經常保持 1 ～ 2 公分深度之培養液。該栽培方式培養液可分成滯水式（Stationany water 或稱非循環式）和循環式（Circulation water）。循環式並非水經常流動，而爲間斷性滴灌，每株灌溉方法與標準式相同，同時有少量排出。所排之培養液可收集於供水池內繼續使用（圖 14）。

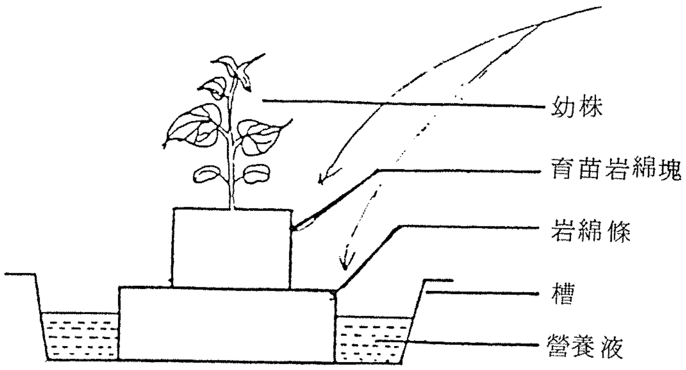


圖 14　槽式岩綿栽培法

㈡培養液灌溉之自動化裝置：

岩綿栽培之培養液每株作物以滴灌方式灌溉，測定正確的特定作物的消耗（包括吸收和蒸散等）培養液的量，再以安全起見增加消耗量的20％供給培養液。其灌溉的自動化，目前有下列不同種類控制方法：

1. 日射量法

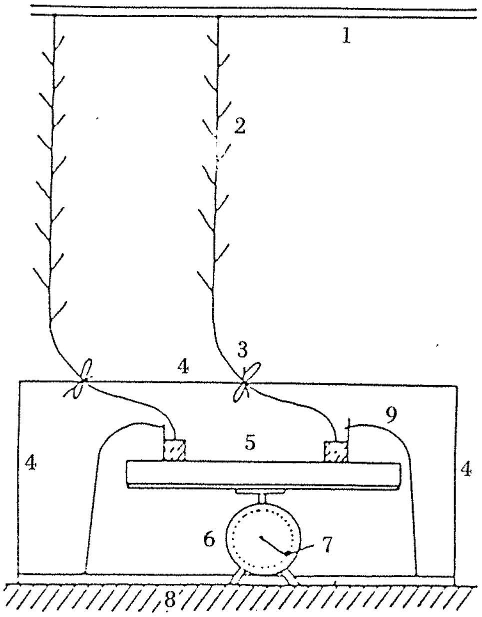
作物之蒸散量與日射量和溫度成正比例，而作物之供給培養液以日射量換算設定之。例如日射量之積算值爲 80J／cm^2 時以 100ml 灌水。爲避開溫室之影響，行定時灌溉。因此於各溫室都設有氣象台，以資料之輸入及輸出而達灌溉之管理，此方法爲荷蘭廣所應用。

2. 天秤法

岩綿放於台秤上面，作物之吸養液使岩綿之重量減輕時，灌水就開始的設定方式。此方法適用於番茄和胡瓜，其作物本身之重量可以支柱來負擔者爲限，對於甜椒之本身重量，需附著台秤上者，則不適宜（圖 15）。

3. 水位感應法

二支電極棒以毛細管與岩綿互爲連結一起，電極棒二支都浸在水中時則灌溉停止，於水位降低、電極露出水面時灌溉開始。但是此方法以蒸發散速度略較岩綿所排水量的流速大者爲限。因此，荷蘭在 2 月中旬到 3 月上旬以前之冬季，不適用此方法（圖 16）。



1. 支柱
2. 植物體
3. 固定的莖
4. 固定用棒
5. 岩綿袋
6. 天秤
7. 開關（通繼電器）
8. 地面
9. 滴灌

圖 15　天秤法

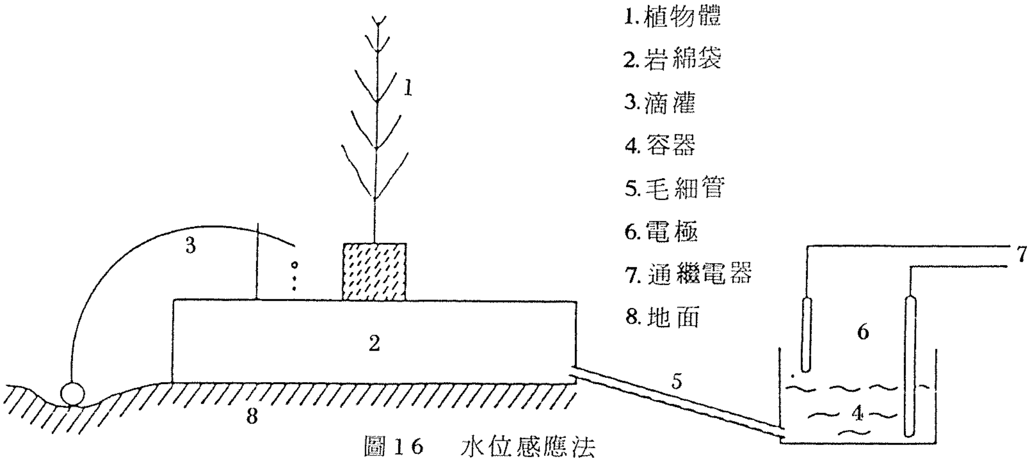


圖 16　水位感應法